

# 超ナノ微結晶ダイヤモンド/水素化アモルファスカーボン膜の金属/半導体接合及びヘテロ接合に関する研究

花田, 尊徳

<https://hdl.handle.net/2324/1931948>

---

出版情報：九州大学, 2017, 博士（工学）, 課程博士  
バージョン：  
権利関係：やむを得ない事由により本文ファイル非公開（3）

氏 名 : 花田 尊徳

論 文 名 : 超ナノ微結晶ダイヤモンド/水素化アモルファスカーボン膜の金属/半導体接合  
及びヘテロ接合に関する研究

区 分 : 甲

## 論 文 内 容 の 要 約

超ナノ微結晶ダイヤモンド (UNCD) /水素化アモルファスカーボン (a-C:H) 混相 (UNCD/a-C:H) 膜は、粒径 10 nm 以下のダイヤモンド微結晶が a-C:H 中に無数に存在する構造を持つ。UNCD/a-C:H 膜は、一般的に化学気相合成 (CVD) 法により作製されるが、所属研究室ではこれまでとは全く異なり物理気相合成 (PVD) 法であるパルスレーザー堆積 (PLD) 法と同軸型アークプラズマ堆積 (CAPD) 法による成膜を実現した。その主な特徴として、(i) 異種基板への成長が比較的容易であること、(ii) 結晶ダイヤモンドと比較して極めて平坦な膜表面を有すること、(iii) 粒界に起因した特異な光電子物性が発現することが挙げられる。光子エネルギー 3-6 eV において  $10^5 \text{ cm}^{-1}$  以上の大きな光吸収係数を有するため、薄膜の光電変換素子材料としての応用が期待できる。これまでに、ホウ素 (B)、窒素 (N) の不純物ドーピングによる p, n 型化が実現され、Si とのヘテロ接合によりダイオードとしての動作が実証されている。一方、受光素子の実現へ向けた素子構造の最適化や光電変換特性を詳細に評価した研究はまだ行われていない。

本論文では、UNCD/a-C:H 膜を用いて金属-半導体-金属 (MSM)、ヘテロ、ホモ接合構造による受光デバイスを試作、光電変換特性を評価し、フォトキャリアのライフタイム評価と金属コンタクトにおける界面状態を分析し、光電変換素子の創製に向けて多くの知見を得た。本論文は 8 つの章から構成される。各章の概要を以下に示す。

1 章では、本論文の研究対象である UNCD/a-C:H 膜の研究背景および本論文での目的を示した。

2 章では、本研究における実験方法を概説した。UNCD/a-C:H 膜の作製に用いる PLD 法と CAPD 法をはじめ、フォトリソグラフィとスパッタリングによる電極作製、分光感度スペクトル測定による受光特性評価、ソーラーシミュレータを用いた太陽電池評価、マイクロ波光導電減衰 ( $\mu$ -PCD) 法によるフォトキャリアライフタイム測定、シンクロトロン光を用いた紫外光電子分光法 (UPS) と X 線光電子分光法 (XPS) によるショットキー障壁高さ評価に関して、それぞれの原理および実験手順を解説した。

3 章では、ホウ素ドーパ超ナノ微結晶ダイヤモンド水素化アモルファスカーボン混相膜の光導電特性を金属-半導体-金属 (MSM) 構造において調べた。様々な材料を用いて電極金属を作製した中で、銅電極によるコンタクトが最も高い接触抵抗を示し、MSM 構造における暗電流の抑制を実現可能とした。電流スペクトルで紫外光と可視光の波長領域に明確な光応答が観測されることを示し、それぞれが UNCD 結晶粒と結晶粒界に起因する可能性が高いことを議論した。

4 章では、UNCD/a-C:H 膜によるホモ接合ダイオードの実現に向けた取り組みを行った。様々な基板上にホモ接合ダイオードを試作、光電変換特性評価を行った。イオン化ポテンシャル測定 (IP) や表面電位測定 (KFM) によるバンドギャップ、フェルミエネルギーの見積もりよりホモ接合時におけるエネルギーバンド構造を最適設計できる可能性を示した。

5 章では、 $\mu$ -PCD 法により少数フォトキャリアのライフタイムを調べた。水素化により少数フォトキャリアのライフタイムが明確に増加することを明らかにし、このことがトラップセンターとして作用する未結合手が原子状水素によって終端されたことに因る可能性が高いことを議論した。

6 章では、p 型 UNCD/a-C:H 膜と n 型 Si 基板により構成されたヘテロ接合ダイオードを、極低温環境において、深紫外線を受光するフォトダイオードとしての特性を電氣的、光学的に評価した。60 K における漏れ電流は、300 K における値と比較して、 $10^3$  以上の漏れ電流の抑制に成功した。深紫外光照射下における検出能は低温環境下において向上したが、逆バイアス印加時における照射電流は、漏れ電流の減少に伴い著しく減少した。このことは、伝導帯におけるバンドオフセットに起因してヘテロ接合界面に現れたスパイクが、低温環境化において極大化し、発生したフォトキャリアが UNCD/a-C:H 膜から Si 基板へと輸送される際に障壁として作用していることに因ると考察した。

7 章では、p 型 UNCD/a-C:H 膜と金属コンタクト間におけるショットキー障壁高さを、シンクロトロン光を用いた UPS と XPS により見積った。任意の仕事関数を有する所定の金属を選定し、コンタクトを形成することで、ショットキー、オーミックコンタクト形成の自在制御が可能となるポテンシャルを立証した。

8 章では、3-7 章まで研究結果と議論を総括し、今後の展望を示した。本論文では、UNCD/a-C:H 膜を用いて MSM、ヘテロ、ホモ接合構造による受光デバイスを試作、光電変換特性を評価し、フォトキャリアのライフタイム評価や電極コンタクトにおける界面状態の分析までに至った。今後の更なる受光特性向上に向けた取り組みにより、光電変換素子への応用が具現化すると考えられる。